جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ هشتم، زمستان۱۳۹۲

صص ٦٤-٤٩

استخراج گسل‌های البرز مرکزی با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER به روش بصری و رقومی‌خودکار

مریم سادات میرعابدینی[۱]- کارشناس ارشد تکتونیک دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
شعبان شتایی- دانشیار جنگلداری (سنجش از دور و GIS) دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
مریم آق آتابای- استادیار تکتونیک دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۲ تاریخ تصویب:۱۳۹۲/۱۲/۱۳

چکیده

یکی از کاربردهای دورسنجی در زمین‌شناسی تهیه نقشه خطواره‌هاست که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات در مطالعات زمین‌شناسی مناطق مختلف در نظر گرفته می‌شود. هدف از این تحقیق، استخراج خطواره‌های (گسل) البرز مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER به روش بصری و رقومی‌خودکار است. بعد از انجام تصحیحات هندسی تصاویر تکنیک‌های بارزسازی مکانی شامل فیلترگذاری، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندی بر روی تصاویر سنجنده ASTER اعمال شد. استخراج خطواره‌ها بر روی این تصاویر پردازش شده به دو روش تفسیر بصری و رقومی‌خودکار انجام شد. سپس خطواره‌های استخراج شده به دو روش بصری و رقومی‌خودکار با یکدیگر و با خطواره‌های (گسل) استخراج شده از نقشه زمین شناسی منطقه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که میزان گسل‌های استخراج شده با روش تفسیر رقومی‌خودکار با میزان گسل‌های نقشه زمین‌شناسی همخوانی ندارد و روش تفسیر رقومی‌خودکار نتوانسته سبب استخراج و شناسایی خطواره‌های گسلی منطقه (گسل خزر و شمال البرز) شود. ولی میزان خطواره‌های استخراج شده به روش بصری با میزان گسل‌ها در البرز همخوانی بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین روش رقومی‌خودکار به‌علت دقت پایینی که دارد، برای مطالعات زمین‌شناسی که بر مبنای مطالعات صحرایی دقت بالایی دارد، پیشنهاد نمی‌شود. در نتیجه، بهترین روش برای انجام مطالعات زمین‌شناسی و بررسی‌های ساختاری در مناطق وسیع و یا مناطقی که دسترسی به آنها مشکل است، استفاده از روش تفسیر بصری و رقومی‌سازی دستی برای استخراج خطواره‌هاست.

کلید واژه‌ها: استخراج خطواره، ASTER، تفسیر رقومی‌خودکار، تفسیر بصری، البرز مرکزی.

---

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۳٦۰٤۲٤٥٦۳ Email: m_mirabedini89@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه سنجش از دور به‌عنوان ابزاری مفید جهت مطالعه در زمینه‌های مختلف علمی از جمله شیلات، محیط‌زیست، جنگلداری وکشاورزی، هیدرولوژی، خاک‌شناسی، هواشناسی، شهرسازی ومعماری، کاربردهای نظامی، زمین‌شناسی و اکتشاف شناخته می‌شود. یکی از کاربردهای دورسنجی در زمین‌شناسی تهیه نقشه خطواره‌هاست که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات در مطالعات زمین‌شناسی مناطق مختلف در نظر گرفته می‌شود. برای مثال در انتخاب محل مناسب ساخت سد، پل، جاده و...، برای تشخیص خطر زمین‌لغزه و لرزه‌خیزی به‌عنوان یکی از مهم ترین مخاطرات محیطی مهم در بسیاری از نقاط کشور، کشف چشمه آب‌گرم و بررسی‌های هیدروژئولوژی، ماهیت و الگوی خطواره‌ها باید شناخته شود. با شناخت الگوی خطواره‌ها و مقایسه آن با الگوی توزیع زمین‌لرزه‌ها می‌توان مناطق مستعد برای وقوع زمین‌لرزه را شناسایی کرد. در نتیجه می‌توان از خسارات احتمالی در زمینه‌های مختلف مثل سدسازی، ساختمان سازی، استخراج معادن و... جلوگیری کرد. همچنین با توجه به این‌که گسل‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترهای مدلسازی احتمال خطر زمین لغزش و پهنه بندی اراضی مختلف می‌باشد و از سویی دیگر استفاده از نقشه‌های موجود زمین شناسی به‌عنوان منبع شناسایی و استخراج گسل‌ها به‌دلیل قدیمی بودن این نقشه‌ها و ایجاد گسل‌های جدید در اثر زمین‌لرزه های جدید نمی‌تواند جوابگوی استخراج هرچه بیشتر این خطواره برای مدلسازی احتمال خطر زمین لغزش باشد، لذا استفاده از منابعی نظیر تصاویر ماهواره‌ای به‌دلیل قابلیت‌های در دسترس بودن در زمان‌های مورد دلخواه و دید وسیع و یکپارچه می‌تواند یک راهکار مناسب جهت جایگزینی با نقشه‌های موجود زمین‌شناسی در زمینه استخراج گسل‌ها مطرح گردد. ساختارهای زمین‌شناسی (درزه‌ها، شکستگی‌ها، گسل‌ها، زون-های برشی و فولیاسیون‌ها) در مطالعات سنجش از دور خود را به‌صورت خطواره نشان می‌دهند (کمالی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲). بنابراین با تهیه این نقشه‌ها به کمک تکنیک‌های سنجش از دور می‌توان تکتونیک و ساختار مناطق را مورد بررسی قرار داد.

عدم دسترسی به بعضی مناطق و همچنین نیاز به صرف هزینه و زمان بسیار برای مطالعه مناطق وسیع، محققان را به سمت یافتن راه‌حلی برای این مشکل کشاند. اولین تحقیقات در مورد کاربردسنجش از دوردرزمین شناسی به مطالعه عکس‌های هوایی درقرن ۲۰ برمی‌گردد(کوچ، ۲۰۰۵: ٦). به کمک عکس‌های هوایی ساختارها، لیتولوژی‌ها و واحدهای زمین‌شناسی شناسایی و در نهایت نقشه‌های زمین‌شناسی ترسیم می‌گردید. با انتشارتصاویرماهواره‌ای لندست درسال۱۹۷۲ استفاده ازعلم دورسنجی درمطالعات زمین افزایش یافت، و امروزه این تصاویر به‌صورت گسترده جهت مطالعات زمین‌شناسی به کار می‌رود. تصاویر ماهواره‌ای از طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس به‌دست می‌آیند، به همین دلیل به‌عنوان بهترین ابزار برای تشخیص و تفکیک خطواره‌ها در نظر گرفته می‌شوند، و نسبت به عکس‌های هوایی اطلاعات بیشتری را در اختیار ما قرار می‌دهند (کاساس و همکاران، ۲۰۰۰:

۱۰۱۱). تحقیقات متعددی درزمینه استخراج خطواره‌ها، بررسی ساختارها و تکتونیک مناطق مختلف توسط محققان صورت گرفته است:

– مه و همکاران (۱۹۹۵) برای استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM ازتکنیک‌های سنجش از دور مانند ترکیب‌رنگی و فیلترگذاری استفاده کردند.

– نواک و سولیکلیس (۲۰۰۰) برای تهیه نقشه خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و تکنیک‌های سنجش از دور (ترکیب‌رنگی و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی) استفاده کردند.

– کوجال (۲۰۰٤) خطواره‌های (خطواره‌های گسلی) منطقه گولبسی [1] در آنکارا را با استفاده از روش‌های رقومی-خودکار و تفسیر بصری استخراج و روش تفسیر بصری را به‌عنوان مناسب‌ترین روش در تفسیر و استخراج خطواره-ها معرفی کرد.

– کوک (۲۰۰۵) هندسه و سازوکار دگرشکلی زون گسلی سورجو [2] در ترکیه را با استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای ASTER [3]، لندست TM، عکس‌های هوایی و SRTM مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که این زون گسلی دارای حرکت امتداد لغز چپ‌بر است.

سارپ (۲۰۰۵) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور خطواره‌های بخش شمالی–جنوبی آنکارا را به‌منظور تهیه نقشه خطواره‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر زون گسلی شمال آناتولی چند زون گسلی دیگر در منطقه وجود دارد.

هدف از این پژوهش کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و تصاویر سنجنده ASTER برای استخراج خطواره‌ها در البرز مرکزی به دو روش تفسیر بصری و رقومی‌خودکار، تهیه نقشه گسل‌های منطقه، و در نهایت مقایسه این نقشه‌ها با یکدیگر و با گسل‌های نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه است.

۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در زون البرز قرار دارد. این زون مجموعه کوه‌هایی را شامل می‌شود که در منتهی‌الیه شمالی ایران با روند شرقی–غربی از آذربایجان تا خراسان ولی با پیچ‌وخم قابل توجه امتداد دارند (درویش‌زاده، ۱۳۸۳: ۱۳٦). این رشته کوه‌ها بخشی از سلسله جبال آلپ– هیمالیا در آسیای غربی است. دگرشکلی‌های کنونی البرز به‌وسیله گسل‌های راندگی و راستالغز چپ‌بر که به موازات این رشته‌کوه هستند، تعیین می‌شود (جمور و همکاران، ۲۰۱۰: ۱). گسل‌های فعال که به موازات این رشته کوه هستند در قسمت شرقی دارای روند شرق–شمال‌شرق و در قسمت غربی دارای روند غرب–شمال‌غرب می‌باشند، در البرز مرکزی به همدیگر می‌رسند (جکسون و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۱۷،

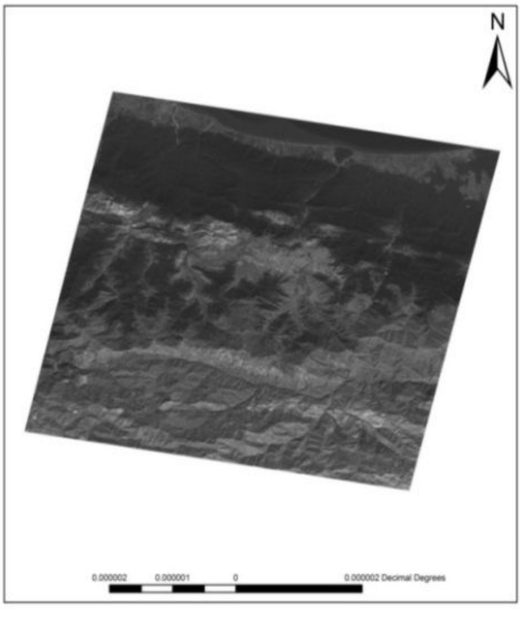
1 Gölbaşı
2 Sürgü
3 Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer

آلن و همکاران، ۲۰۰۳: ٦٦٢). این بخش، تحدب جنوبی دریای خزر را شامل می‌شود که از سمنان تا قـزوین ادامـه دارد. چارچوب تکتونیکی امروزه البرز مرکزی به‌وسیله گسل‌های پرشیب با روند غرب–شمال‌غرب تا شـرق–جنـوب‌شـرق و شرق–غرب که به موازات این کمربند هستند، مشخص می‌شود. ساختارهای اصـلی محـدوده مـورد مطالعـه شـامل گسل‌های شمال البرز و خزر است. روند ساختاری گسل شـمال البـرز، شـمال‌شـرق–جنـوب‌غـرب و شـمال‌غـرب–جنوب‌شرق است. گسل خزر که طولانی‌ترین ساختار لبه شمالی البرز به شـمار مـی‌رود بـا راسـتای خـم‌دار شـرقی–غربی در دامنه شمالی البرز و جنوب دشت کرانه‌ای مازندران قرار دارد.

۳. مواد و روش‌ها

۳,۱. داده‌های مورد استفاده

۱. تصویر مـاهواره‌ای: درایـن تحقیقـاز تـصاویر سـنجنده ASTER مـاهواره TERRAمربـوط بـه اکتبـر۲۰۰٤در محدوده ۵۱/۱۹–۵۲/۱۳ درجه طول شرقی و ۳٦/٦۸–۳٦/۰۱ درجه عـرض شـمالی اسـتفاده شـد (شـکل ۱). سـنجنده ASTER دارای سه زیر سیستم به‌نام‌های VNIR,SWIR وTIR می باشد. زیرسیستمVNIR[۱]دارای سه بانـد مرئـی و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، زیرسیستم SWIR[۲]دارای شش باند مادون قرمـز کوتـاه بـا قـدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر وزیرسیستم TIR[۳]دارای پنج باند مادون قرمزحرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر است.



شکل ۱ یک فریم از باند قرمز تصویر ASTER (داده خام)

1visible and near-infrared
2short wave infrared
3thermal infrared

مهم‌ترین ویژگی تصاویرASTER در مقایسه با دیگر سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی متوسط نظیر تصاویر سنجنده ETM^+[1] در قدرت تفکیک مکانی و طیفی نسبتاً بالای آنها می باشد؛ به طوری که تصاویر زیرسیستم VNIRدارای قدرت تفکیک ۱۵ متر است. به‌همین دلیل در این تحقیق فقط از تصاویر زیرسیستم VNIR به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر و دارا بودن محدوده‌های طیفی مرئی و مادون‌قرمزنزدیک در استخراج خطواره‌ها استفاده گردید.

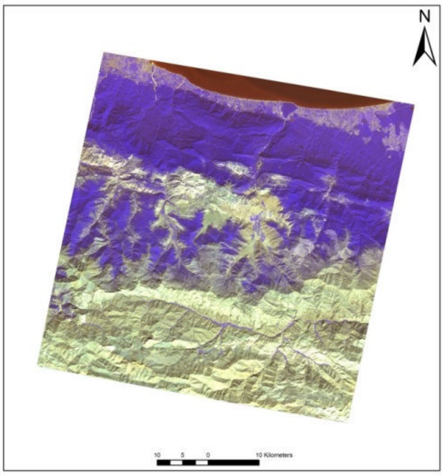
۲. نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با هدف زمین‌مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردید.

۳. نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۱۳۸۱ و ۱۳۷۹) مربوط به محدوده مورد مطالعه برای انطباق و تأیید نقشه خطواره‌های استخراج شده، تهیه گردید.

۳,۲. روش‌های مورد استفاده

پیش از استخراج خطواره‌ها باید یکسری پردازش‌ها به‌منظور آماده‌سازی تصویر ماهواره‌ای صورت گیرد که شامل مراحل زیر است:

تصحیح و آماده‌سازی تصاویر: پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای تصحیحات رادیومتری و هندسی قبل از بکارگیری آنها در استخراج داده‌ها از تصاویر امری ضروری است. در این پژوهش به‌دلیل نوع و هدف تحقیق و با توجه به این‌که تصحیحات رادیومتری تا حدی بر روی تصویر مورد مطالعه در ایستگاه زمینی به‌درستی صورت گرفته است، نیاز به تصحیح بیشتر خطای رادیومتری نبوده است. ولی به‌دلیل عدم تطابق هندسی تصاویر با زمین، تصحیح هندسی و زمین‌مرجع کردن تصاویرVNIRصورت گرفت به همین منظور به کمک روش چندجمله‌ای و با استفاده از نقاط کنترلی استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تصحیح هندسی انجام شد (شکل ۲).

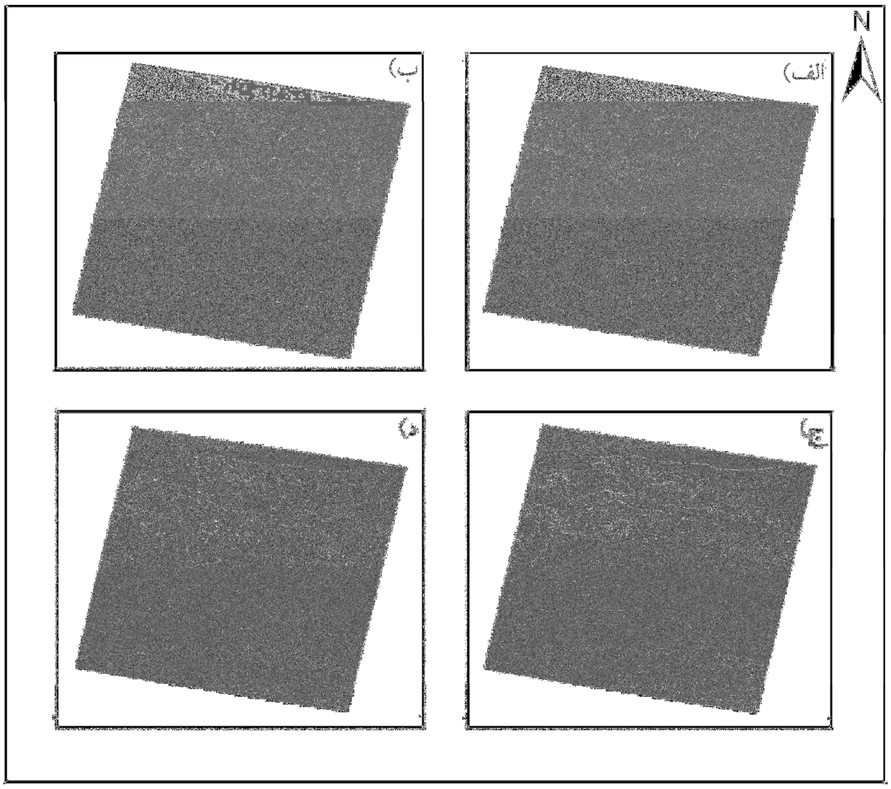


شکل ۲ تصویر رنگی کاذب از باندهای VNIR از تصویر ASTER بعد از اعمال تصحیح هندسی

1Enhanced Thematic Mapper Plus

پردازش و بارزسازی تصویر: مجموعه عملیات و پردازش‌هایی را که سبب بارزسازی پدیده‌ها و عوارض مورد مطالعه از سایر پدیده‌های درون تصویر می‌شود، بارزسازی می‌گویند. در این مطالعه پس از تصحیح هندسی تصویر، تکنیک‌های بارزسازی مکانی بر روی تصاویر VNIR صورت گرفت. با توجه به نوع هدف تحقیق (استخراج خطواره‌ها) و براساس تحقیقات مشابه و نتایج تحقیقات انجام شده، تکنیک‌های بارزسازی خطواره‌ها مورد استفاده شامل اعمال فیلتر، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندها بوده است.

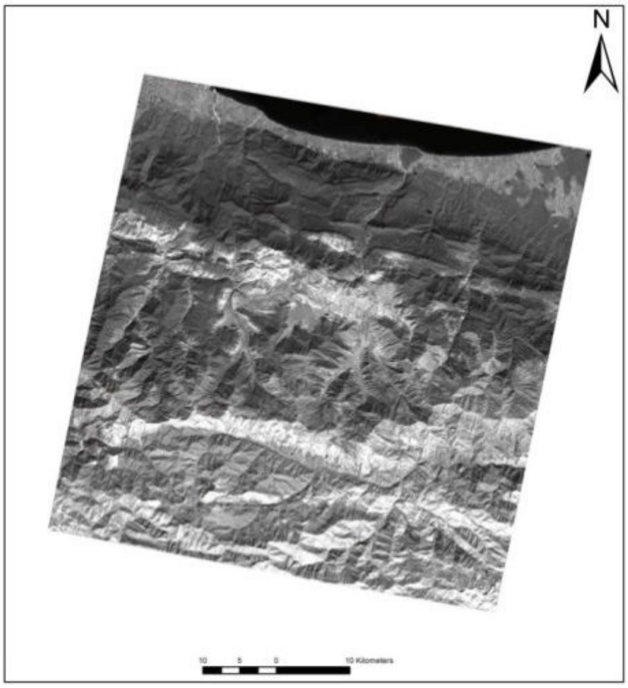
فیلترگذاری: فیلتر کردن نوعی تغییر ارزش‌های طیفی[1] است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل همسایه‌اش تغییر می‌کند (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۲٤۷). در این تحقیق از فیلتر جهت‌داربه‌منظور بارزسازی خطواره‌ها که درجهات مختلف گسترش دارند، استفاده گردید. این فیلترها در جهات EW، NS، NE-SW و NW-SEبر روی باند مادون قرمزنزدیک تصویر VNIR اعمال شدند (شکل۳). تحقیقات قبلی نشان داده است که اعمال فیلتر بر روی این باند در تشخیص بهتر خطواره‌ها از دیگر پدیده‌های مجاور مؤثر است (هانگ و همکاران، ۲۰۰۵: ٤).



شکل ۳ نمونه‌هایی از فیلترهای جهت‌دار اعمال شده بر روی تصویر مادون قرمز. الف) EW، ب) NE-SW، ج) NS و د) NW-SE.

1DN

تجزیه مؤلفه‌های اصلی: این روش بـرای تبـدیل مختـصات و کـاهش داده‌هـا در سـنجش از دور بـه کـار مـی‌رود (کوجال، ۲۰۰٤: ۱۷؛ سارپ، ۲۰۰۵: ۳۱). با توجه به این‌کـه معمـولاً سـه مؤلفـه اول دارای بیـشترین واریـانس اطلاعـات هستند، تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی ۳ بانـد اول صـورت گرفـت، و مؤلفـه اول بـه دلیـل دارا بـودن ۸۰ درصـد از اطلاعات برای شناسایی خطواره‌ها به کار گرفته شد (شکل ٤).

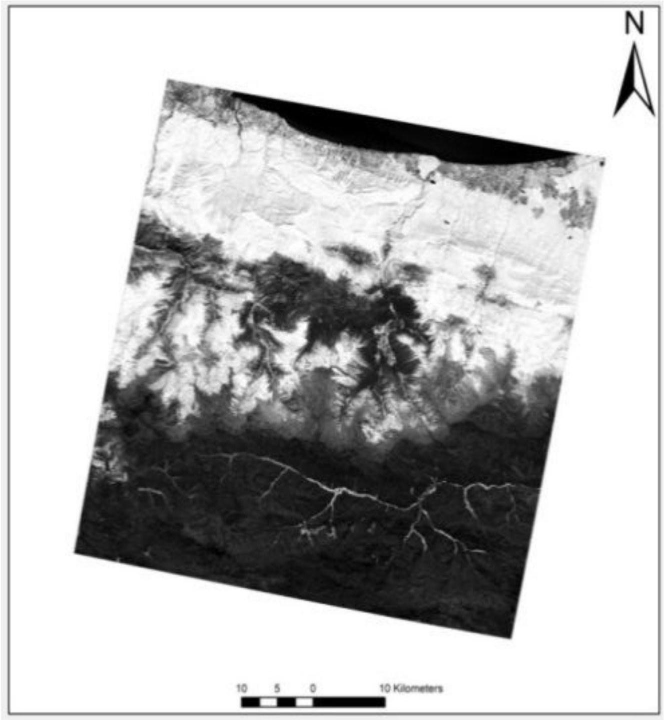


شکل ٤ تصویر مؤلفه اول حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای VNI.

نسبت‌گیری باندها: فرآیند اعمال محاسبات حسابی بر روی پیکسل‌های دو یا چند تصویر و پیکسل‌هـای متنـاظر آن در تصویر دیگر را نسبت‌گیری می‌نامند. مفسران معمولاً از این تکنیک نیـز در تـشخیص تغییـرات بـه کمـک تـصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌کنند. در مطالعات مختلف از نسبت‌گیری‌های متفـاوتی اسـتفاده شـده اسـت. انتخـاب بهتـرین و مناسب‌ترین نسبت‌گیری باندها یکی از قسمت‌های مهم در هر تحقیق می‌باشد. در این تحقیـق بـرای انتخـاب نـسبت-گیری باندی مناسب به دلیل عدم گزارشات مناسب از معرفی بهترین نسبت‌گیری در زمینـه اسـتخراج گـسل، از روش آزمون و خطا استفاده گردید. یکی از نسبت‌گیری‌های مناسب نسبت بانـدیOSAVI[1](رونـدائوگس و همکـاران، ۱۹۹٦: ۱۰۲) می‌باشد (شکل ۵). این نسبت که شاخص بین پوشش گیاهی و خاک است از نسبت بین بانـدهای مـادون قرمـز نزدیک به قرمز به دست می‌آید.

1Optimized Soil Adjusted Vegetation Index

$$OSAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + 0.16)}$$



شکل ٥ تصویر شاخص OSAVI حاصل از نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک به قرمز

استخراج خطواره‌ها عموماً از طریق روش‌های مختلفی نظیر روش بصری، رقومی خودکار و رقومی- بصری صورت می‌گیرد (کوجال، ٢٠٠٤: ١٧؛ کوج، ٢٠٠٥: ٦؛ سارپ، ٢٠٠٥: ٣١؛ کوجال و همکاران، ٢٠٠٧: ٣٩١٧؛ قاری و همکاران، ٢٠٠٨: ١٠١). این روش‌ها می‌تواند بر روی باندهای اصلی و یا باندهای حاصل از پردازش‌های مختلف و با اعمال تکنیک‌های مختلف انجام گیرد. در این تحقیق پس از اتمام عملیات آماده‌سازی تصویر استخراج خطواره‌ها به دو روش بصری و رقومی‌خودکار انجام شد.

١. **روش بصری**: با استفاده ازتفسیر بصری در محیط نرم افزار ArcGIS تمام خطواره‌های گسلی موجود در منطقه بر روی تصاویر حاصل از اعمال فیلترهای جهت‌دار، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، نسبت‌گیری باندها و ترکیب‌رنگی استخراج گردید. دراستخراج خطواره‌های گسلی، نشانه‌هایی برای شناسایی این خطواره‌ها استفاده گردید. این نشانه‌ها شامل جابه‌جایی لایه‌ها، رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها، خطی شدن پوشش گیاهی، دره‌های خطی، پرتگاه‌های گسلی، تغییرات مربوط به لیتولوژی (رنگ وجنس)، تغییرناگهانی شیب وسن لایه‌ها، قطع شدگی امتداد بیرون‌زدگی‌ها؛ درزه‌ها و شکستگی‌ها بوده است. در نهایت خطواره‌های استخراج شده از این

تصاویر به‌صورت نقشه خطواره‌ها تهیه (شکل ٦)، و رزدیاگرام آنها بـرای تعیـین جهـت‌یـابی در منطقـه ترسـیم گردید (شکل ۷).

۲. **روش تفسیر و استخراج رقومی‌خودکار:** با استفاده از قابلیت‌های برخی ماژول‌هـای تعبیـه شـده در نـرم افزار PCI Geomatica استخراج خودکار خطواره‌ها (در این تحقیق گسل‌ها) صورت گرفت و نتایج با خطواره‌های حاصل از روش بصری مورد مقایسه قرار گرفت. استخراج خطواره‌ها بـه روش خودکـار دو مزیـت اصـلی دارد: ۱- در مدت زمان کوتاهی تمام خطواره‌ها را شناسایی و استخراج می‌کند؛ ۲- خطواره‌هایی را که بـا چـشم قابل رویت نیستند، ترسیم می‌کند (سارپ، ۲۰۰۵: ٤٤). روش‌های زیادی بـرای اسـتخراج خودکـار وجـود دارد. یکی از معروف‌ترین روش‌ها انجام فیلترهای خاص بر روی تصاویر پردازش شده می باشد. به‌علت بیشتر بـودن تعداد خطواره‌های استخراج شده با فیلترهای جهت‌دار در روش بصری، در این روش نیز از فیلترهـای جهـت‌دار استفاده شد. به همـین منظورتـصاویرحاصل ازاعمـال فیلترهـا (درجهـاتEW،NS،NE-SWوNW-SE) بـرای استخراج خطواره‌ها مورداستفاده قرارگرفت. برای استخراج رقومی‌خودکار خطواره‌ها، چند پارامتر را باید در نظـر گرفت (جدول ۱).

جدول ۱ پارامترهای مورد نیاز برای استخراج رقومی‌خودکارخطواره‌ها

Parameters of Line Module	Parameters values
[1]RADI	15
GTHR[2]	140
[3]LTHR	30
FTHR[4]	3
ATHR[5]	15
DTHR[6]	20

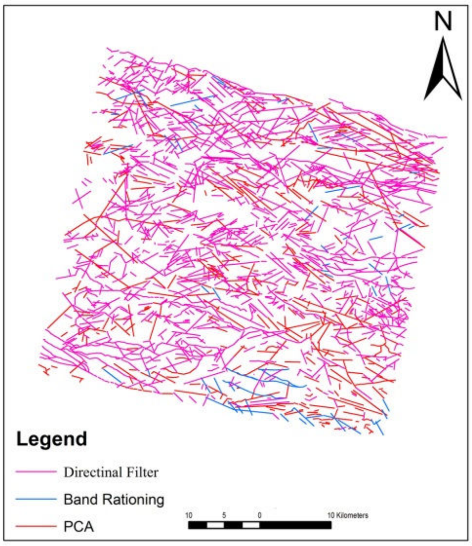
در این پژوهش، پارامترها به روش آزمون و خطـا تغییـر داده شـد، و در نهایـت اعـدادی کـه نـشان دهنـده درست‌ترین نقشه خطواره بود، انتخاب شدند. به‌دلیل اینکه برنامه توانایی تشخیص خطـواره‌هـای گـسلی ازبقیـه خطواره‌ها (جاده، لبه ساختمان‌ها، شبکه زهکشی و...) راندارد، تـصحیحاتی درایـن مـورد صـورت گرفـت. ایـن خطواره‌ها باخطواره‌های استخراج شده به روش بصری (که با نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه تطبیق داده شده بـود)

1 Radius of filter in pixels
2 Threshold for edge gradient
3 Threshold for curve length
4 Threshold for line fitting error
5 Threshold for angular difference
6 Threshold for linking distance

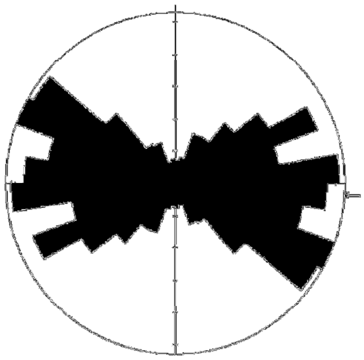
مقایسه، خطواره‌های اضافی حذف ونقشه نهایی تهیه گردید (شکل ۸). سپس رزدیاگرام این خطواره‌ها برای تعیین جهت‌یابی آنها درمنطقه ترسیم شد (شکل ۹).

٤. بحث و نتایج

پس از استخراج خطواره‌ها به روش بصری نقشه خطواره‌ها تهیه، و رزدیاگرام آنها ترسیم شد (شکل ٦ و ۷). در شکل ٦ خطواره‌های استخراج شده از اعمال فیلتر، نسبت‌گیری و تجزیه مؤلفه‌های اصلی با رنگ‌های متفاوت نشان داده شده است. رزدیاگرام این خطواره‌ها روندهای غالب شرقی-غربی و شمال‌غرب-جنوب‌شرق را نشان می‌دهند (شکل ۷). نقشه خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی‌خودکار و رزدیاگرام آنها نیز در شکل‌های ۸ و ۹ به نمایش درآمده است. این رزدیاگرام روند کلی شرقی- غربی را نشان می‌دهد.



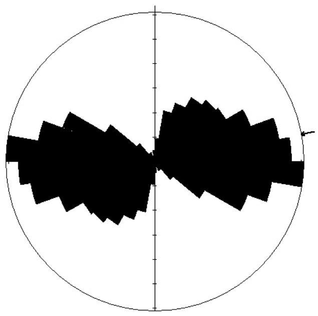
شکل ٦ نقشه خطواره‌های استخراجی از تصاویر فیلتر شده، نسبت‌گیری و تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهایVNIR به روش بصری (محدوده ۵۲/۱۳-۵۱/۱۹ درجه طول شرقی و ۳٦/٦۸-۳٦/۰۱ درجه عرض شمالی)



شکل ۷ رزدیاگرام خطواره‌های استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای به روش بصری



شکل ۸ نقشه خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی‌خودکار



شکل ۹ رزدیاگرام خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی‌خودکار

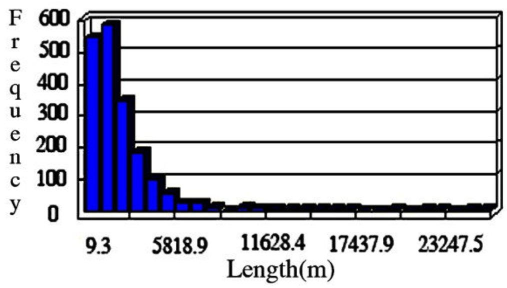
در این پژوهش از دو روش بصری و رقومی‌خودکار برای استخراج خطواره‌های البرز مرکزی استفاده گردید. سپس به کمک روش‌های مختلف بارزسازی تصویر و با در نظر گرفتن پارامترهای مذکور در بخش استخراج خطواره‌ها تعداد ۱۹۱۲ خطواره به روش بصری و ۳۸۸۶ خطواره به روش رقومی‌خودکار استخراج شد. تعداد خطواره‌های گسلی استخراج شده از تصاویر فیلتر شده جهت‌دار ۱۴۴۰، تجزیه مؤلفه‌های اصلی ۴۱۱ و نسبت‌گیری باندها ۵۷ است. از میان روش‌های استفاده شده در بارزسازی، تصویر فیلترهای جهت‌دار و تجزیه مؤلفه‌های اصلی در شناسایی و تشخیص خطواره‌ها بیشترین نقش را داشتند. دلیل این امر بارزسازی بیشتر خطواره‌ها با استفاده از اعمال فیلترهای جهت‌دار و همچنین وجود ۸۰ درصد از اطلاعات در مؤلفه اول تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. به کمک نسبت‌گیری باندی نیز خطواره‌هایی که با دو روش قبل قابل تشخیص نبودند و اکثراً در بخش جنوبی تصویر قرار

داشتند، ترسیم گردید (خطواره‌های آبی رنگ در شکل ٦). استفاده از این روش‌ها در پردازش تصویر و شناسایی خطواره‌ها نشان داد که اعمال فیلترهای جهت‌دار بهترین گزینه برای شناسایی خطواره‌ها در مناطق دارای پوشش گیاهی هستند.

٤،١. خطواره‌های استخراج شده به روش بصری

به‌منظور مقایسه این روش با روش رقومی‌خودکار ابتدا باید خصوصیات خطواره‌ها را مورد بررسی قرار داد. این خصوصیات شامل: تعداد، طول، تراکم، تراکم طولی، الگوی توزیع مکانی و جهت‌یابی آنها در منطقه است. نتایج نشان داد که تعداد خطواره‌ها ۱۹۱۲ است (شکل ۱۰). میانگین طول خطواره‌ها ۲/۱۹ کیلومتر است که با میانگین طول گسل‌ها در نقشه زمین‌شناسی (۱/۹۳ کیلومتر) تفاوت قابل توجهی ندارد. حداکثر طول خطواره‌ها حدود ۲۵ کیلومتر است (شکل ۱۰). این مقدار با توجه به طول گسل‌ها در البرز مرکزی (مانند گسل‌های خزر، شمال البرز و مشا (حدود ۱۵۰ کیلومتر) که دارای قطعاتی با طول زیاد هستند) می‌تواند صحیح باشد.

Count	1912
Minimum Length (m)	9.337904
Maximum Length (m)	25281.49023
Sum (m)	4205486.28884
Mean (m)	2199.522118
Standard Deviation	2221.892838

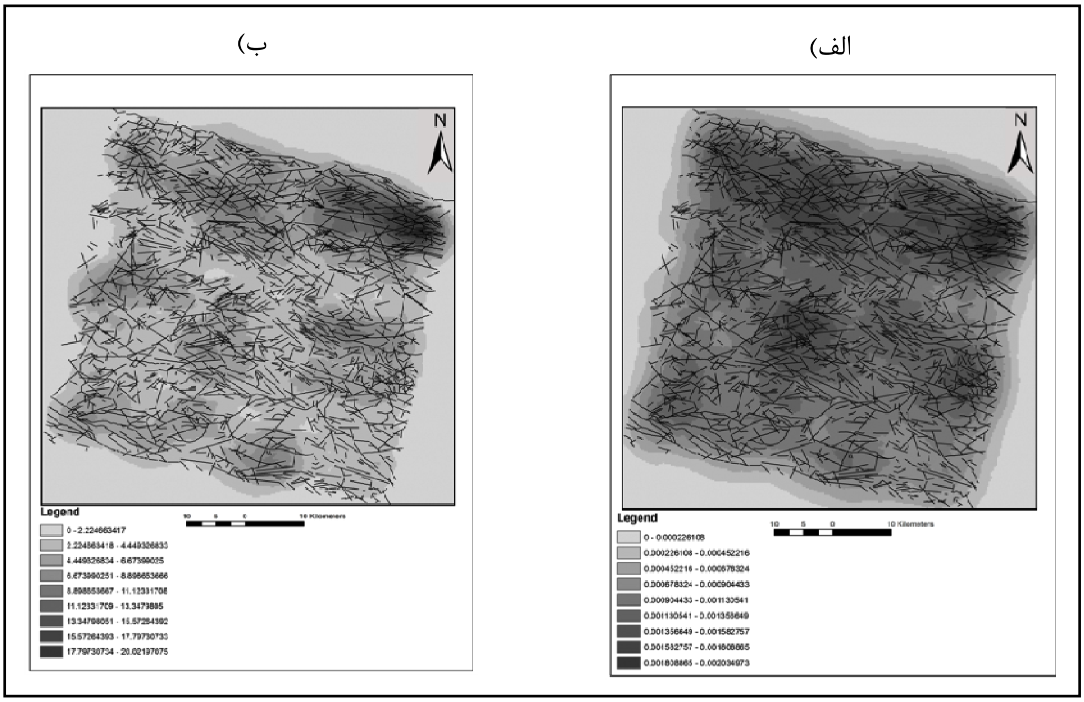


شکل ۱۰ توزیع فراوانی خطواره‌های استخراج شده به روش بصری

۱. رزدیاگرام خطواره‌ها نشان دهنده دو روند غالب شرقی- غربی و شمال‌غرب-جنوب‌شرق و یک روند فرعی شمال‌شرق- جنوب‌غرب در منطقه است. غالب دگرشکلی‌های البرز گسل‌های تراستی و امتداد لغز چپ‌بر موازی با این رشته کوه‌ها هستند که به دلیل همگرایی شمالی- جنوبی بین ورق‌های عربی و اوراسیا و حرکت به سمت غرب حوضه خزر جنوبی نسبت به ایران به وجود آمده‌اند. این کوتاه‌شدگی شمالی- جنوبی بر روی گسل‌هایی که به سمت داخل رشته کوه شیب دارند، رخ می‌دهد (آلن و همکاران، ۲۰۰۳: ۶۵۹). روندهای غالب مشخص شده در این رزدیاگرام که در جهات شرقی- غربی و شمال‌غرب- جنوب‌شرق قرار دارند نیز تأییدی بر این مدعاست.

۲. نقشه تراکم خطواره‌ها (زکیر و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۰۷۳)، (شکل ۱۱-الف) نشان دهنده: الف) افزایش تراکم به‌صورت شرقی-غربی در بخش‌های شمالی منطقه است. این افزایش بیان‌گر وجود زون شکستگی در این بخش است (سارپ، ۲۰۰۵: ٤٤). با مقایسه نقشه زمین‌شناسی بلده با نقشه تراکم خطواره‌ها مشاهده می‌شود که این روند افزایشی در امتداد گسل‌های خزر، شمال البرز و کجور است. ب) افزایش تراکم در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه نشان

دهنده وجود شکستگی‌هایی در این بخش است. در نقشه زمین‌شناسی بلده در ایـن بخـش گـسل بلـده قـرار دارد. در نقشه تراکم طولی خطواره‌ها(شکل ١١– ب) نیز در بخش‌های شمالی (در امتداد گسل‌های خـزر و شـمال البـرز) یـک روند افزایشی مشاهده می‌شود. افزایش تراکم طولی نیز بیان‌گر وجود زون گسلی در منطقه است (سارپ، ٢٠٠٥: ٦٢). بنابراین می‌توان گفت که خطواره‌های استخراج شده با این روش گسلی هستند.



شکل ١١ الف) نقشه تراکم خطواره‌ها، ب) نقشه تراکم طولی خطواره‌ها

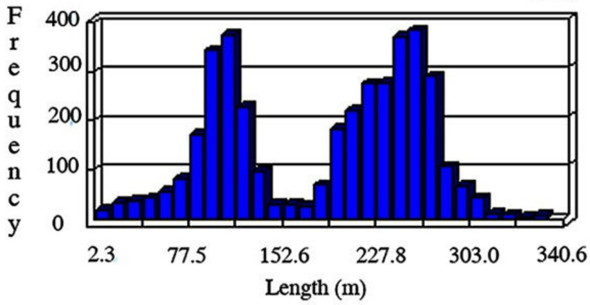
٤,٢. خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی‌خودکار

١. تعداد خطواره‌ها در این روش ٣٨٨٦ است (شکل ١٢). بیشتر بودن تعداد خطواره‌ها در این روش بـه دو دلیـل است: الف) کوتاه بودن طول خطواره‌ها. زیرا طول اکثر خطواره‌هایی که توسط برنامه شناسایی می‌شـوند کوتـاه اسـت، و برنامه توانایی اتصال خطوط برای ایجاد یک تکه خط را ندارد. ب) عدم توانـایی برنامـه در تـشخیص خطـواره‌هـای گسلی از بقیه خطواره‌ها (جاده، لبه ساختمان، شبکه زهکشی و...).

٢. میانگین طول خطواره‌ها ٠/١٨ کیلومتر است (شکل ١٢). با توجه به اینکه تعداد خطواره‌های استخراج شـده بـه این روش بیشتر است، ولی میانگین طول آنها نسبت به روش بصری (٢/١٩) کوتاه‌تر است.

٣. حداکثر طول خطواره‌ها حدود ٠/٣٦ کیلومتر است (شکل ١٢). این مقدار با توجه بـه طـول گـسل‌هـا در البـرز مرکزی نمی‌تواند صحیح باشد.

الف)



ب)

Count	3886
Minimum Length (m)	2.321531
Maximum Length (m)	358.806511
Sum (m)	720088.878271
Mean (m)	185.303365
Standard Deviation	77.000644

شکل ۱۲ توزیع فراوانی خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی‌خودکار

٤. رزدیاگرام این خطواره‌ها روند شرقی–غربی را نشان می‌دهد. با اینکه روند غالب در البرز مرکزی به‌صورت شرقی–غربی است، ولی دو روند شمال‌غرب–جنوب‌شرق و شمال‌شرق–جنوب‌غرب هم در این منطقه بسیار است.

خصوصیات خطواره‌های استخراج شده مانند طول و جهت‌یابی با گسل‌های منطقه همخوانی ندارد. گسل‌های خزر و شمال البرز از ساختارهای مهم منطقه هستند که با این روش شناسایی نشده‌اند.

بنابراین مقایسه خطواره‌های استخراج شده به این دو روش بیان‌گر قابل اعتماد بودن روش بصری برای تجزیه و تحلیل خطواره‌های گسلی است. زیرا در روش بصری طول، جهت‌یابی، توزیع مکانی، تراکم و تراکم طولی خطواره‌ها با وضعیت گسل‌ها در البرز همخوانی بیشتری دارد. همچنین یک زمین‌شناس به‌کمک تجربه و شناخت پارامترهای لازم در تشخیص خطواره‌های گسلی می‌تواند آنها را با دقت بیشتری نسبت به یک برنامه استخراج کند.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش خطواره‌های منطقه البرز مرکزی به کمک تکنیک‌های بارزسازی از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و با استفاده از دو روش بصری و رقومی‌خودکار استخراج شد. نتایج نشان داد که از بین تکنیک‌های بارزسازی مورد استفاده، روش‌های اعمال فیلترهای جهت‌دار بر روی باند مادون قرمز نزدیک، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندی در شناسایی خطواره‌ها تأثیر بسزایی دارند. دلیل این مسئله داشتن ویژگی بارزسازی لبه در فیلترهای جهت‌دار و همچنین وجود ۸۰ درصد اطلاعات در باند اول تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. به کمک نسبت‌گیری باندی نیز خطواره‌هایی که اکثراً در بخش جنوبی تصویر قرار داشتند، و با این دو روش قابل تشخیص نبودند، شناسایی شد. خطواره‌های گسلی که به کمک این تکنیک استخراج شد با گسل‌هایی که در نقشه زمین‌شناسی بلده توسط سازمان زمین‌شناسی ترسیم شده، همخوانی دارد. استفاده از این روش‌ها در پردازش تصویر و شناسایی خطواره‌ها نشان داد که اعمال فیلترهای جهت‌دار (سارپ، ۲۰۰۵: ٤۳؛ کوجال، ۲۰۰٤: ۱۵) بهترین گزینه برای شناسایی خطواره‌ها در مناطق دارای پوشش گیاهی هستند. خصوصیات خطواره‌های استخراج شده با روش رقومی‌خودکار از قبیل تعداد، طول و جهت‌یابی با گسل‌های نقشه زمین‌شناسی همخوانی

ندارد. گسل‌های خزر و شمال البرز که از ساختارهای مهم منطقه هستند در این روش شناسایی نشده‌اند که دلیل آن عدم توانایی برنامه در تفکیک خطواره‌های گسلی از بقیه خطواره‌ها است. بنابراین روش رقومی‌خودکار به‌دلیل دقت پایینی که دارد، برای مطالعات زمین‌شناسی که همیشه بر مبنای مطالعات صحرایی بوده است و نیازمند دقت بیشتری است، پیشنهاد نمی‌شود. ولی در روش بصری طول، جهت‌یابی، تراکم و تراکم طولی خطواره‌ها با وضعیت گسل‌ها در البرز همخوانی بیشتری دارد. در نتیجه بهترین روش برای انجام مطالعات زمین‌شناسی و بررسی‌های ساختاری در مناطق وسیع و یا مناطقی که دسترسی به آنها مشکل است، استفاده از روش بصری برای استخراج خطواره‌هاست.

کتابنامه

درویش‌زاده، ع.، ١٣٨٣، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ٤٣٤ ص.

علوی پناه، س. ک.، ١٣٨٥، سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.

کمالی، ز.، سرکاری‌نژاد، خ.، کشاورز، س.، ١٣٩٠، بررسی زمین‌ساخت ناحیه دشت ارژن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک-های سنجش از دور: سی‌امین گردهمایی علوم زمین.

Aboyeji, O.S., Mogaji, K.A., Oyinloye, R.O., 2012. Structural interpretation of remotely sensed data sets, ITS hydrogeological implication over ILE-IFE and environs. Ozean Journal of Appllied Science, 5 (1).43-54.

AlaviPanah, S. K., 2006. Thermal remote sensing and its application in the earth sciences. Tehran University press, Tehran.

Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. Journal of Structural. Geology. 25, 659–672.

Casas, A. M., Cortes, Angel L., Maestro, A., Soriano, M.A., Riaguas, A., Bernal, J., 2000. A program for lineament length and density analysis. Computers and Geosciences, 26 (9/10), 1011-1022.

Darvishzadeh, A., 2004. Geology of Iran, Amir Kabir Publication, 434pp.

Djamour, Y., Vernant, Ph., Bayer, R., Nankali, H.R., Ritz, J-F., Hinderer, J., Hatam, Y., Luck, B., Moigne, N.L., Sedighi, M., Khorrami, F., 2010. GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborzmountain range, Iran. Geophysical Journal International., doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04811.x, 1-15.

Geological Survey of Iran., 2002. Baladeh, Geological Survey of Iran, Tehran, scale 1:100,000.

Geological Survey of Iran., 2001. Marzan Abad, Geological Survey of Iran, Tehran, scale 1:100,000.

Hung, L. Q., Batelaan, O., De Smedt, F., 2005. Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V, edited by Manfred Ehlers, Ulrich Michel, Proc. of SPIE Vol. 5983, 59830T, 0277-786X/05/$15 · doi: 10.1117/12.627699.

Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., Berberian, M., 2002. Active tectonics of the south Caspian basin.Geophysical Journal International 148, 214–245.

Kamali, Z., Sarkarinejad, kh.,Keshavarz, S., 2012. Tectonic investigation of Dasht-e-Arjan region using satellite images and remote sensing technics.30th meeting of Geology science. Tehran.

Koç, A., 2005. Remote sensing of Sürgü fault zone, Malatya, Turkey. Thesis, for the degree of master of science. 90 p. Assist. Prof. Dr. NuretdinKaymakçı, Geodetic and Geographic Information Technologies, School of Natural and Applied Sciences.

Koçal, A., 2004. A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery. Thesis, for the degree of master of science. 122. Prof. Dr. CelalKarpuz, Mining Engineering, School of Natural and Applied Sciences.

Koçal, A., Duzgun, H.S., Karpuz, C., 2007. An accuracy assessment methodology for the remotely sensed discontinuities: a case study in Andesite Quarry area, Turkey. International Journal of Remote Sensing. 28 (17), 3915–3936.

Koike, K., Nagano, S., Kawaba, K., 1998. Construction and analysis of interpreted fracture planes through combination of satellite image derived lineaments and digital elevation model data. Computers and Geosciences. 24 (6), 573-583.

Madani, A.A., 2001. Selection of the optimum landsat thematic mapper bands for automatic lineaments extraction, WadiNatash Area, South Eastern Desert, Egypt. 22rd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001.

Mah, A., Taylor, G.R., Lennox, P., Balia, L., 1995. Lineament analysis of landsat TM images, Northern Territory, Australia. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 61(6), 761-773.

Novak, I.D., Soulakellis, N., 2000. Identifying geomorphologic features using landsat-5 TM data processing techniques on Lesvos, Greece Geomorphology 34, 101-109.

Qari, M.H.T., Madani, A.A., Matsah, M.I.M., Hamimi, Z., 2008. Utilization of Aster and Landsat data in geologic mapping of basement rocks of Arafat area, Saudi Arabia. The Arabian Journal for Science and Engineering, 33(1c).99-116.

Richetti, E., 2002. Structural geological study of southern Apennine (Italy) using landsat 7 imagery.IEEE.211-213.

Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F., 1996. Optimization of soil adjusted vegetation indices. Remote Sensing Environment 55 (2): 95–107.

Sarp, G., 2005. Lineament analysis from satellite images, North-West of Ankara. Thesis, for the degree of master of science. 76 p. Prof. Dr. VedatToprak, Geodetic and Geographic Information Technologies School of Natural and Applied Sciences

Süzen, M.L., Toprak, V., 1998. Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in central Turkey.International Journal of Remote Sensing. 19 (6), 1101-1114.

Vanderbrug, G.J., 1976. Line detection in satellite imagery.IEEE Transactions on Geoscience Electronics. 1, 37-44.

Zakir, F.A., Quari, M.H.T., Mostafa, M.E., 1999. A new optimizing technique forpreparing lineament density maps. International Journal of Remote Sensing, 20 (6), 1073-1085.